農業氣象之應用與發展
第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性
107 -124, 2001

第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性

徐森雄　唐　琦

國立屏東科技大學水土保持系

摘　　要 ---------- 108

壹、前　　言 ---------- 108

貳、試區儀器及方法 ---------- 109

參、結果與討論 ---------- 112

肆、參考文獻 ---------- 122

ABSTRACT ---------- 123

第八章　坡地檳榔園微氣候與水文之特性

徐森雄　　唐　琦

國立屏東科技大學水土保持系

摘　　要

本研究於南投縣水里鄉上安村內，選取檳榔園設為試驗集水區，除觀測降雨量、地表逕流外，並另外設置 6m 高氣象觀測柱，觀測全天日射量、淨輻射量、風向風速垂直分佈、溫濕度垂直分佈、地中熱傳導量、地溫垂直分佈等，除探討檳榔園之地表逕流與微氣候特性外，並進一步從氣象資料推估檳榔園之蒸發散量，以瞭解檳榔園之水文特性。

關鍵詞：檳榔園、水文、微氣候、蒸發散。

壹、前　　言

在過去數十年來，栽植面積成長率最高的作物當為檳榔，由 1963 年之 1,175 公頃增至 1989 年之 33,487 公頃，而至 1996 年時已超過 6 萬公頃，在分佈上屏東縣約佔 33%，南投縣約 20%，嘉義約 18%，花蓮台東兩縣佔約 16%。除屏東縣者外，其餘多栽植於山坡地，其中有 8,800 公頃為超限利用之坡地。

由於過去對檳榔之三不政策處理態度，致有關山坡地栽植檳榔對水土資源之影響研究著墨不多，行政院農委會雖於八十年開始推動調查研究，但迄今尚未獲得具體之定論，相關學者指出：檳榔對地力衰退影響嚴重，水分入滲率降低，致地下水位下降，且檳榔之小試區水土保持試驗結果不宜放大論述等等。因之，於檳榔園設置集水區，探討其水文特性有其實際上需要。徐森雄等(1997)在農委會補助之下於南投縣水里鄉上安村設置檳榔園集水區，從事降雨量、地表逕流量等之水文觀測，唯獨檳榔園之蒸發散量資料調查尚待進行。

國內之坡地檳榔園多數為檳榔樹純林與其他作物混植者較少，由於林相與森林全然不同而有其獨特微氣候形成過程或者熱量收支（heat budget），因此本研究於既已設置之檳榔園集水區內，另外加設微氣象觀測塔，除藉以探討檳榔園之微氣候特性外，亦可藉由微氣象資料推估檳榔園之蒸發散量，期對坡地檳榔園之水分收支有更完整之瞭解。

貳、試區儀器及方法

一、試區概況

觀測地點位於南投縣水里鄉上安村(三部巷)內，村內坡地廣植檳榔，所選定檳榔園集水區之面積 6764.27 平方公尺，試區平均坡度約 30°，檳榔樹齡 9 年，樹高約 6-7m，設置之氣象觀測站海拔 890m，試區土壤為黏質壤土(clay loam)，其中夾雜多量風化砂頁岩岩屑。

二、觀測儀器

(一) 地表逕流量之觀測：

本研究採用 H 型水渠之設計如下，其量水堰及其相關設備如相片一。

(1) 以 Rizrha 公式及集水區現地測量的結果，估算集水區的洪峰到達時間(tp)。

(2) 採用「水土保持手冊」中，台中 50 年再現期的時間降雨強度公式，估算集水區的時間降雨強度(I)。

(3) 利用合理化公式，取逕流係數 C=0.9 估算集水區 50 年再現期的洪峰流量(Qp)。

(4) 根據美國農業部農業研究署(USDA-ARS)不同形式 H 型水渠的特性曲線，配置 H 型水渠各部位的細部設計尺寸。

相片一：試區量水堰及其相關設備

地表逕流水水位量測乃是採用壓力式水位計，並與記錄降雨資料的自動資料擷取記錄器共用，以五分鐘為觀測時間間距，與雨量記錄一並儲存於記錄器中。該項資料與雨量資料於固定時間一併下載，攜回實驗室中，再依各壓力式水位記的律定曲線，及各H型水渠的特性曲線，進行監測基地地表逕流量的分析。

(二) 微氣候觀測：

於上述檳榔園集水區內，架設6m高之不銹鋼觀測柱，以太陽能板供電，利用自動資料擷取記錄器(automatic data logger)收錄下列各項資料:

(1) 全天日射量（6m高，EKO MF62）
(2) 風向、風速(6m及2.5m高，YOUNG)
(3) 溫、濕度（5m、3.5m及2.5m高，VISELER）
(4) 淨輻射量（2m高，NR-LITE）
(5) 降雨量（0.4m高）
(6) 地中熱傳導量（地表下5cm深，EKO MF9L）
(7) 地溫(地表下 5cm、10cm、20cm、30cm、50cm，白金電阻式溫度計)

此外，並另行委託試區鄰近居民於檳榔園旁地上放置小蒸發皿（口徑20cm），逐日觀測其蒸發量。

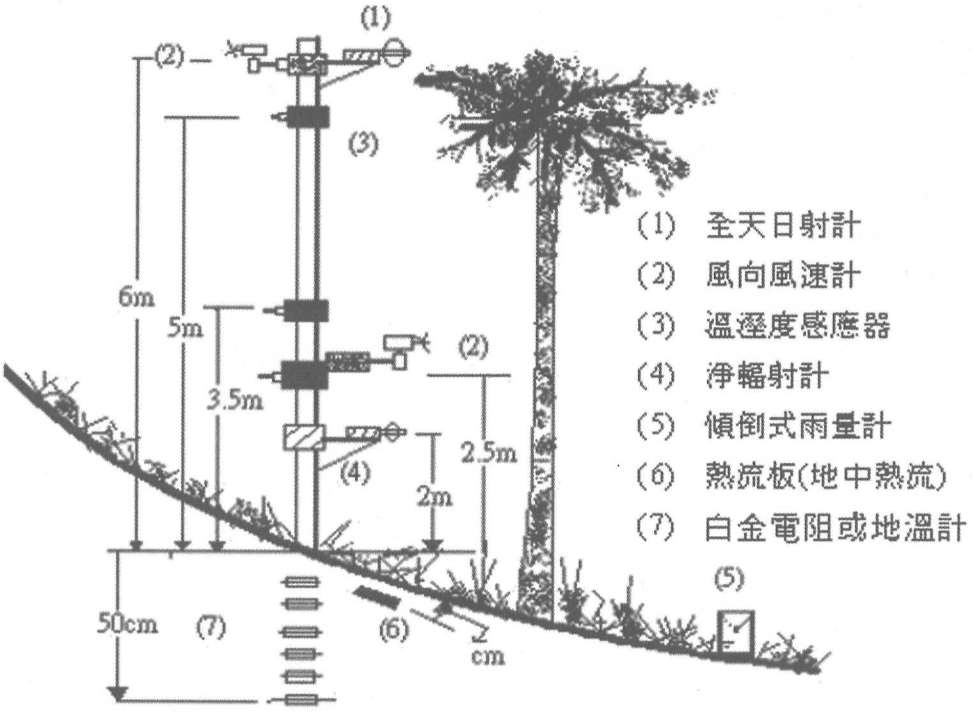


圖1：觀測儀器示意圖

三、蒸發散量之推估

1、熱收支法(heat budget method)：

植生地之熱收支可表示如下：

$$Rn = B + lE + \mathrm{L} + \mathrm{Bp} + \mathrm{Pn} \tag{1}$$

式中，Rn：植生地之淨輻射量(net radiation，Wm^{-2})

B：地中傳導之熱量(soil heat flux， Wm^{-2})

L：顯熱(sensible heat flux，Wm^{-2})

lE：潛熱(latent heat flux，Wm^{-2})

Bp：植物體所儲存之熱量

Pn:P-r_i　P：光合作用吸收之熱量　r_i：呼吸作用放出之熱量

除了森林地外，一般植生地植物體儲熱量(Bp)與純光合作用吸熱量(Pn)均甚小，可省略不計。因此由(1)導出下式：

$$L = \frac{Rn - B}{1 + 1/\beta} \tag{2}$$

$$lE = \frac{Rn - B}{1 + \beta} \tag{3}$$

β為飽溫比(Bowen ratio)可以下式計算之：

$$\beta = \frac{L}{lE} \approx 05\frac{T_1 - T_2}{e_1 - e_2} \tag{4}$$

$$E = \frac{lE}{l} \tag{5}$$

l：水之蒸發潛熱 (597.36-0.559T_1) (cal g^{-1})

T_1、T_2：地表上 2 個高度之氣溫(℃)

e_1、e_2：地表上 2 個高度之水蒸氣壓(mm)

2、改良彭曼模式法（modifed Penman model method）

Doorenbos and Pruitt(1997)提出下式:

$$E=\left[\frac{\Delta}{\Delta+r}\times Rn^{*}+\frac{r}{\Delta+r}\times Ea\right]\times\varepsilon$$

式中，Δ：飽和蒸氣壓曲線上，溫度 T(℃)之切線斜率(mm℃ $^{-1}$)

$$\Delta=\frac{de_{sat}}{dT}=0.4456+0.2080T+0.0008T^{2}+9.5453\times10^{-6}T^{3}+1.5268\times10^{-7}T^{4}$$

r：乾濕計常數=0.67(mb℃ $^{-1}$)

$$Rn^{*}=10\times\frac{R_T}{l}\times V_w$$

R_T = 淨輻射 (cal cm^{-2} day^{-1})，

l : 水之蒸發潛熱(cak g^{-1})，

V_W : 水之單位重體積(cm^{3} g^{-1})，

E_a : 大氣乾燥度 $=(e_{sat}-e_a)\times f(\mu)$ (mm day^{-1})，

e_{sat} : 飽和水蒸氣壓(mb)，

e_a : 水蒸氣壓(mb)，

$f(\mu)$爲E_a時之風速函數 $=0.26\times(0.5+0.54\times\mu)$，

u : 2m高度之風速(m sec^{-1})，

ε:射出率 ≒1。

參、結果與討論

試區氣象儀器於 1999 年 4 月初架設，並開始記錄，爾後發現於陰雨天時，因太陽能板提供電力不足，蒐錄資料不全，經增設太陽能板後雖獲得解決，但於 2000 年 2 月以後，復因埋設之電纜迭遭野鼠為害，致維持所有觀測項目資料齊全甚為不易。因此本文分析之氣象資料僅採用 1999 年 6 月至 2000 年 1 月所收錄部分。而地表逕流量則為 1997年6月所蒐集之六場降雨量及逕流量來分析。

一、檳榔園集水區之地表逕流量：

地表逕流量觀測資料的分析，基本上包含基流分離及有效雨量的決定兩部分。基流量的分離本研究採用最單純的直接法，至於有效雨量的決定則採用 ϕ-指數法（ϕ-index）。

以檳榔集水試區而言，該集水區下游存在經常性的湧水現象，使得該集水區在降雨之後，經由地下湧出的水量會直接加

注於所量測的地表逕流中。無論該湧出水來自於地下伏流水或地下水，其所發生的時間延遲及補助量時間尺度均與地表逕流水的延遲及時間尺度不同，因此在基流的分離工作上較為困難。由於檳榔集水試區的地下伏流或湧水特性不明，導致進行退水曲線最佳趨勢迴歸，尋求中的衰退係數 k 時無法判定。

$$Q(t) = Q_0 e^{-(t-to)/k}$$

圖 2 至圖 7 為 1997 年 6 月之六場降雨量及逕流量之歷時變化。其逕流係數列如表 1，介於 0.5~0.85 之間，平均達 0.72。

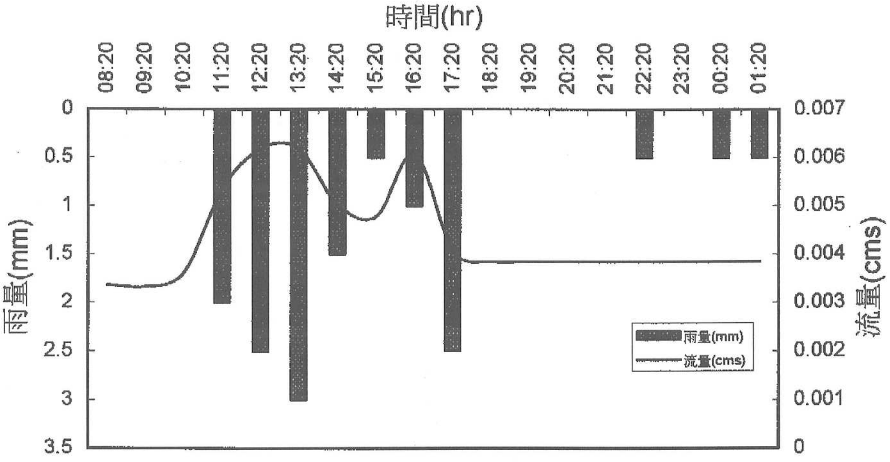


圖 2、1997 年 6 月 10 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

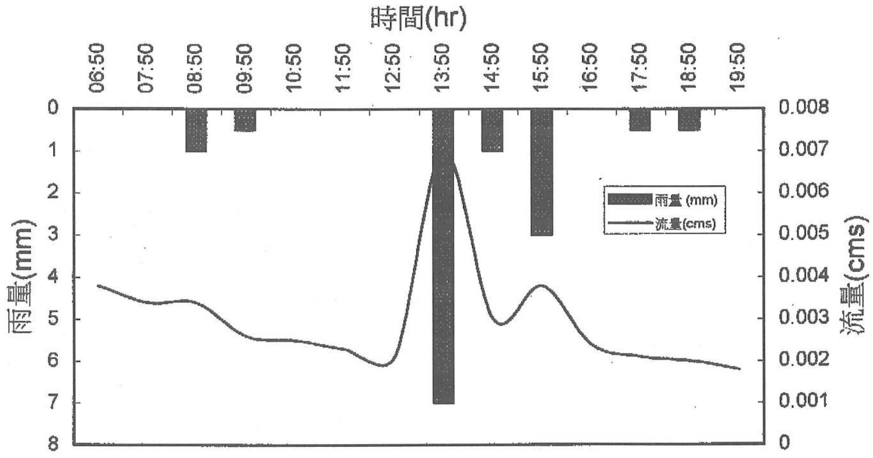


圖 3、1997 年 6 月 12 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

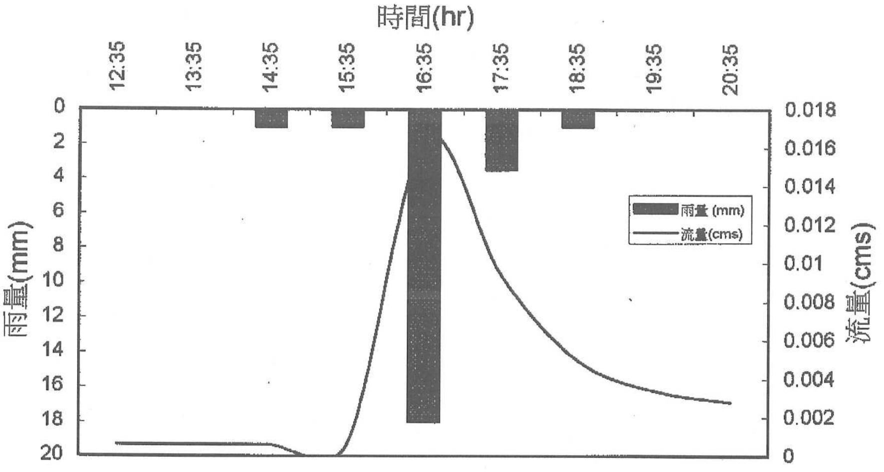


圖 4、1997 年 6 月 13 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

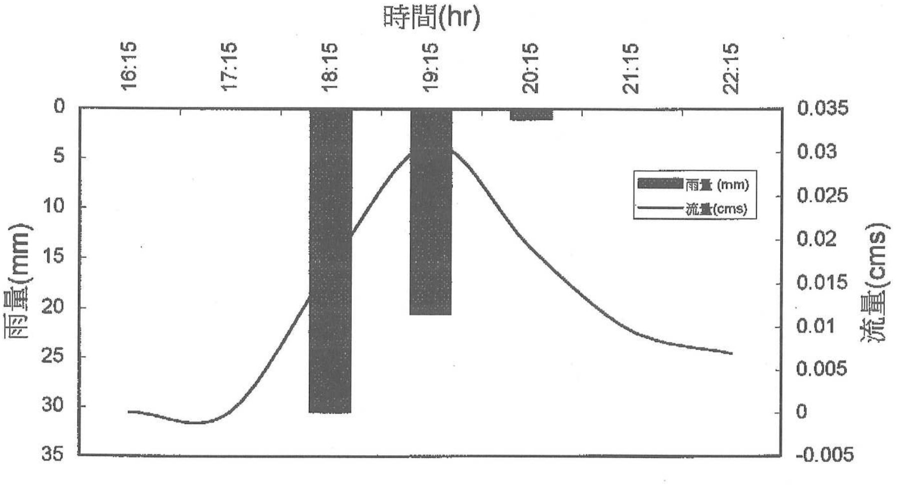


圖 5、1997 年 6 月 26 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

表 1、1997 年 6 月份六場降雨之降雨量、逕流量及逕流係數

日　期	降雨時間	降雨量(mm)	逕流量(m^3)	逕流係數
6/10/97	08:20~01:20	14.5	72.0	0.73
6/12/97	06:05~19:50	13.5	61.2	0.67
6/13/97	12:35~20:35	24.5	122.4	0.74
6/26/97	06:15~22:15	52.0	298.8	0.85
6/27/97	13:50~18:50	14.5	48.6	0.50
6/28/97	10:25~20:35	32.5	175.0	0.80

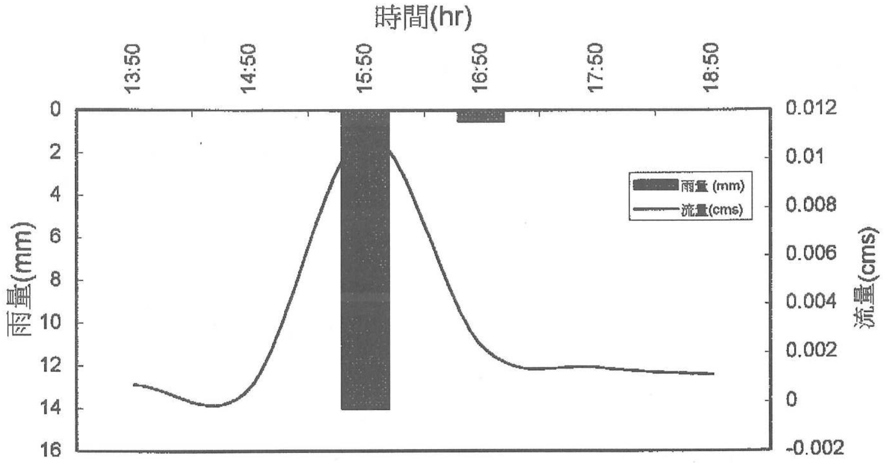


圖 6、1997 年 6 月 27 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

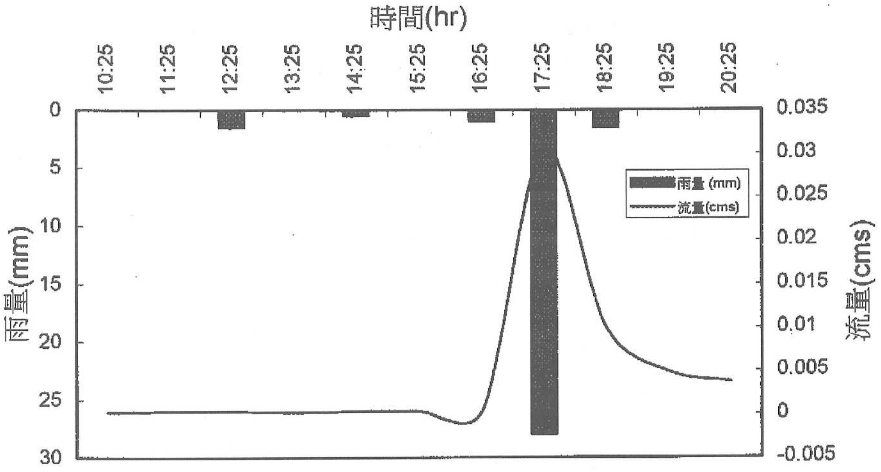


圖 7、1997 年 6 月 28 日檳榔園集水區之雨量及地表逕流量。

逕流係數反應集水區內降雨特性、地形地勢、地表植生及土地利用現況、集水區內土地滲透特性等，試區有 72%的降雨因種植檳榔且坡度較陡之故，轉變成直接逕流。再者，檳榔集水試區內經常有地下湧水現象產生，雖然可藉由旱季時對區內流水的觀測，了解地下湧水於旱季時出流量範圍，但對雨季時地下湧出水的多寡及湧水延時狀況，以目前的設置而言，難以明確量化，以致檳榔集水試區的實際逕流量再分析時甚為困難。過多的假設，尤其在基流分離上的假設，勢必直接影響逕流

係數分析的結果。

二、坡地檳榔園之微氣候特性:

1. 氣溫與溼度：就 2.5m 高度之觀測值而言，氣溫之日平均值與最高值差距不大（如圖 8 所示），在 1℃以內。溼度之日平均值夏季在 85%~90%，冬季則在 78%~84%左右。
2. 地溫：自地表下 5cm 至 50cm 深度地溫日變化，夏季約 2℃，而冬季僅在 1℃以內，觀測期間日平均之變化趨勢如圖 9，顯現夏季時日平均地溫淺層較深層者高，及至秋冬季時逐漸逆轉。

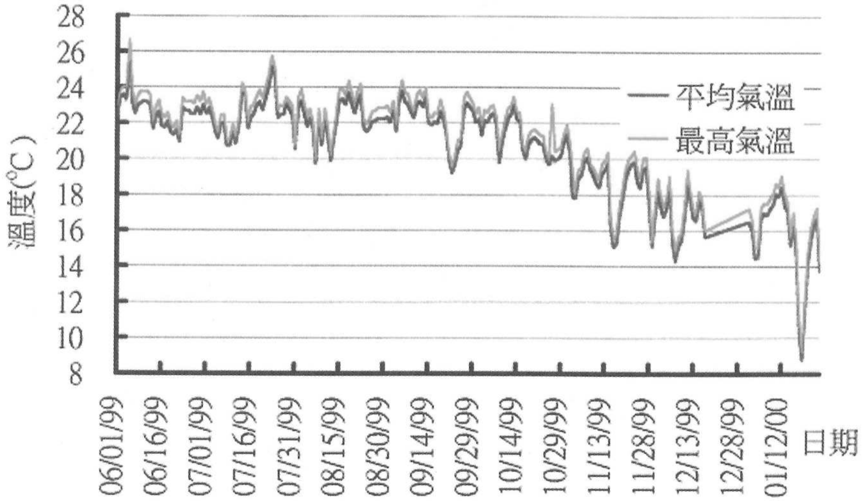


圖 8、觀測時間內地表上 2.5m 高度日平均氣溫與最高氣溫之變化。

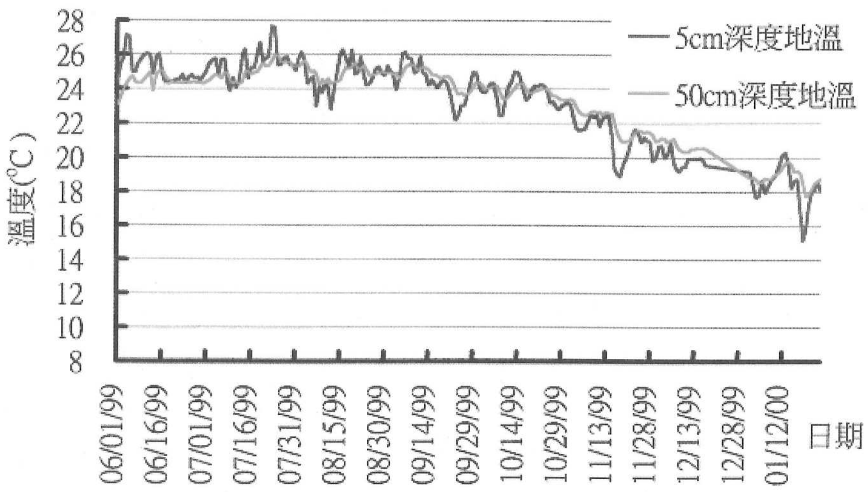


圖 9、觀測時間內地表下 5cm 深度及 50cm 深度日平均地溫之變化。

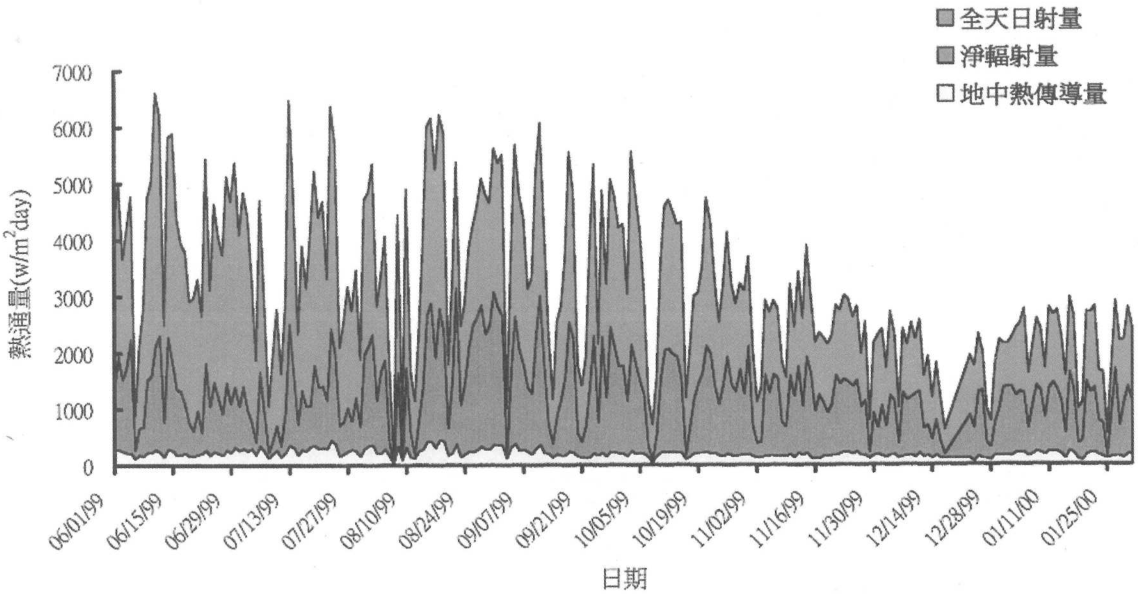


圖 10、觀測時間內全天日射量、淨輻射量、地中熱傳導量之變化。

表 2、觀測期間內全天日射量(Qs)、淨輻射量(Rn)、地中熱傳導量(B)及其比例之日平均值

月　份	Qs	Rn	B	Rn/Qs	B/Rn
1999/06	4164.1	1341.4	227.5	0.316	0.194
1999/07	3602.2	1154.7	275.0	0.310	0.277
1999/08	3862.6	1760.3	272.5	0.418	0.189
1999/09	3801.9	1633.7	222.7	0.404	0.182
1999/10	3405.2	1435.8	187.9	0.404	0.170
1999/11	2453.2	1193.2	167.9	0.471	0.167
1999/12	1873.2	866.6	140.9	0.447	0.196
2000/01	2233.7	1111.2	175.1	0.484	0.180

3.　全天日射量、淨輻射量及地中熱傳導量：觀測期間內此三者之變化如圖 10，其中全天日射量之日變化最為劇烈，再就各月份之日平均值來說，如表 2 所示，全天日射量於夏季可超過 4000Wm^{-2}，冬季則約 2000Wm^{-2}，變幅達 50%，而淨輻射量及地中熱傳導量雖亦夏多冬少，但變幅僅約 30%。淨輻射量佔全天日射量之比例由夏季之 31%至冬季之 48%兩者對應情形如圖 11；而地中熱傳導量站淨輻射量之比例約 17%~28%，兩者對應情形如圖 12 所示。

三、坡地檳榔園蒸發散量之推測

在前述熱收支法中顯熱（L）與潛熱

（*lE*）計算上所需兩個高度之氣溫及水蒸氣壓分別採用 5m 及 2.5m 者，而改良彭曼模式法中所需之氣溫及水蒸氣壓參數採 2.5m 者，2m 高度風速則由 6m 及 2.5m 高度之風速依冪次分佈方式向外延伸求得。圖 13 為 1999 年 6 月 22-23 日及 7 月 24-25

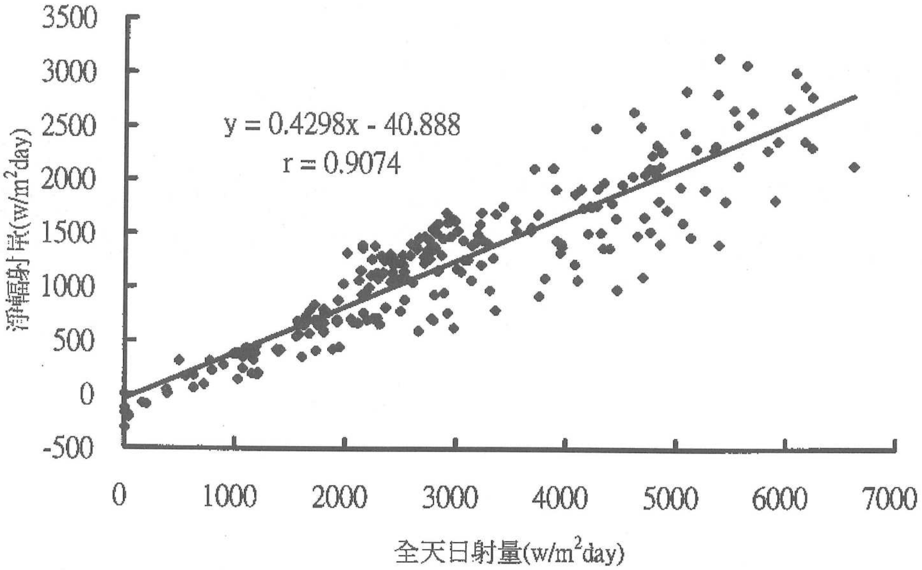


圖 11、淨輻射量與全天日射量之對應圖。

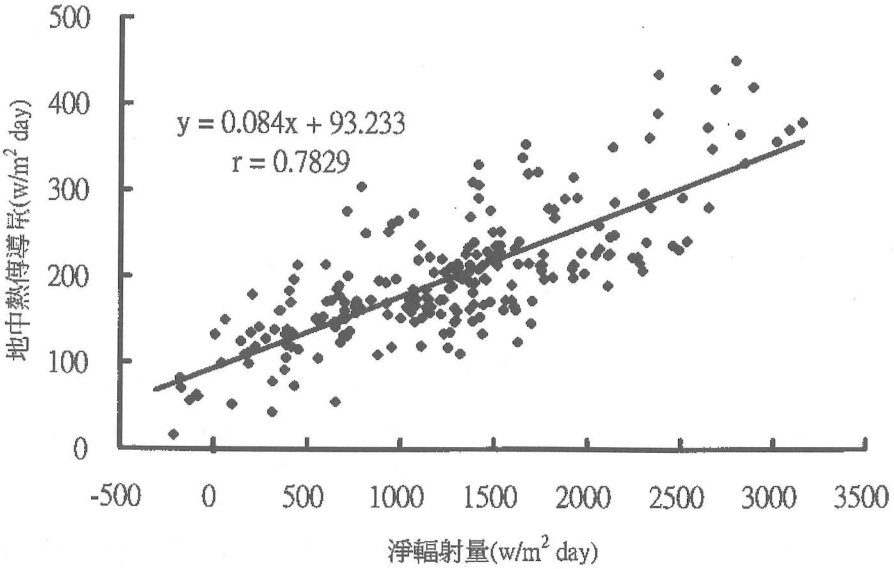
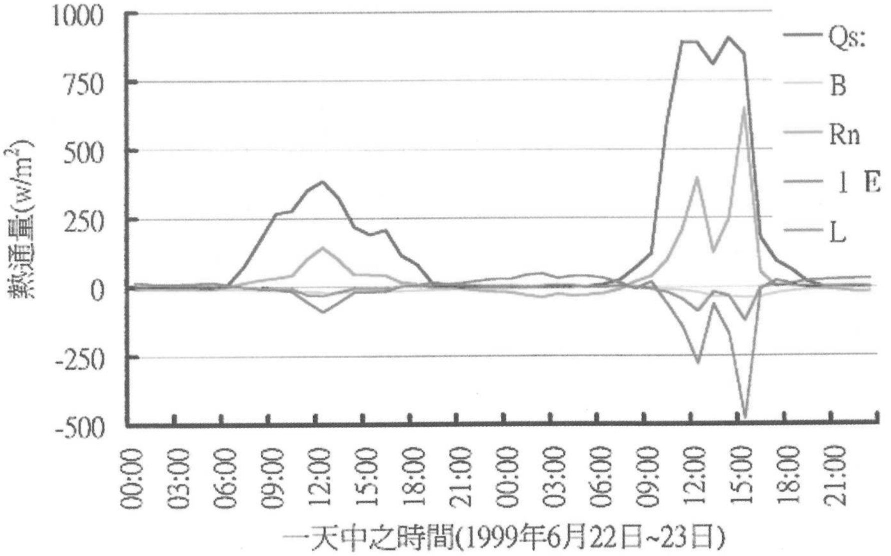


圖 12、淨輻射量與全天日射量之對應圖。



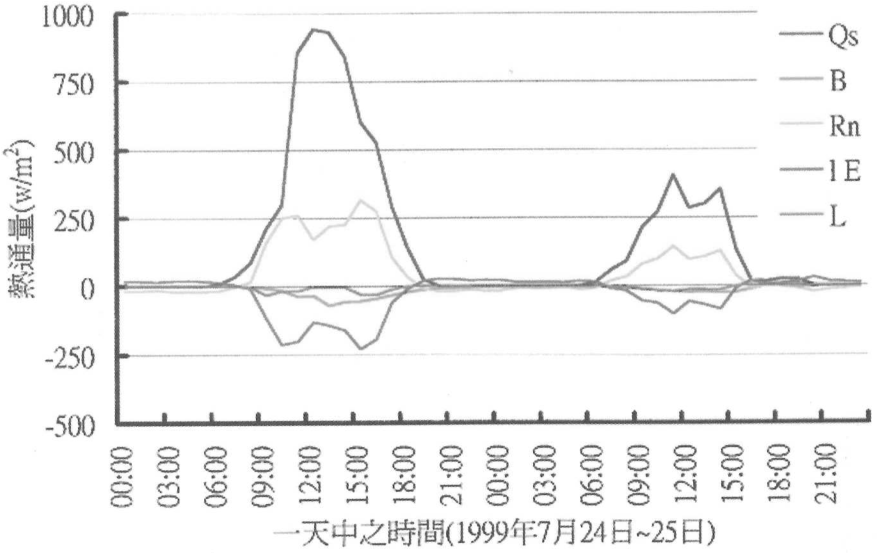


圖 13、1997 年 6 月 22 日~23 日及 7 月 24 日~25 日各熱收支項之逐時變化。
Qs：全天日射量　Rn：淨輻射量　B：地中熱傳導量　IE：潛熱　L：顯熱

日各熱收支項的逐時分佈，途中顯現即使於天氣較晴朗之日，其地中熱傳導量（B）及顯熱（L）均不大，而以潛熱（*lE*）所佔份量最大。圖 14 為觀測期間內依熱收支法及改良彭曼模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。圖 15 則為在 8 個月份中，彼此最為接近，選出 1999 年 9 月做逐日蒸發散量推測值與蒸發皿蒸發量之比較。此兩圖均顯示，蒸發散量推測值與蒸發皿蒸發量之變化趨勢頗為一致。表 3 除

列出圖 14、圖 15 各點數值外，並列出熱收支法（H）及改良彭曼模式法（C）推測值對蒸發皿蒸發量（A）之比值，從表中可見 H/A 值之日變化在 0.45~1.93，長期平均值為 0.75，C/A 值之日變化在 0.47~1.53，長期平均值為 0.68。

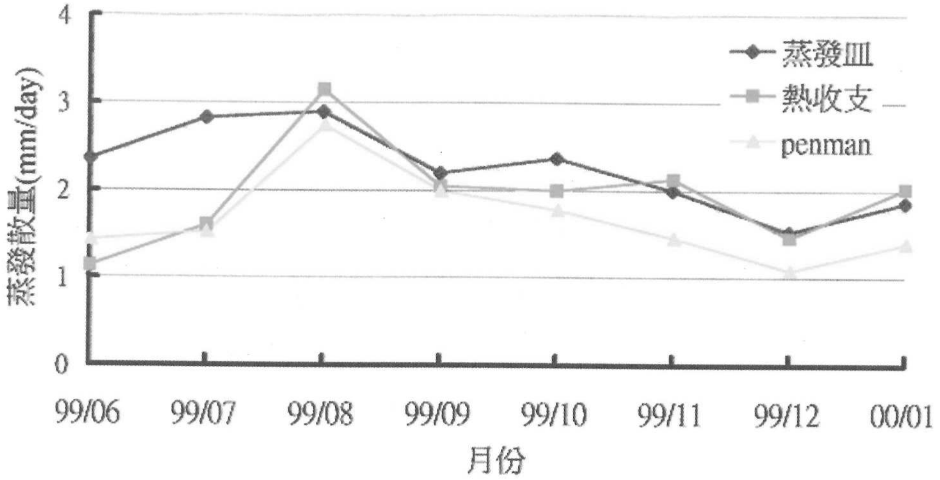


圖 14、觀測時間內依熱收支法及改良彭曼(Penman)模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。

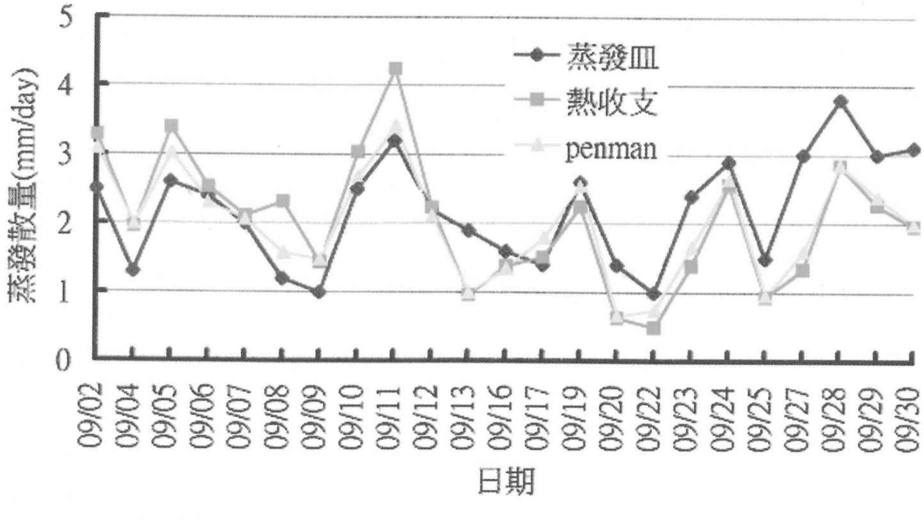


圖 15、1999 年 9 月依熱收支法及改良彭曼(Penman)模式法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較。

表 3、熱收支法及 Penman 法所推測之蒸發散量與蒸發皿蒸發量之比較

月份	A(蒸發皿)	H(熱收支)	C(Penman)	H/A	C/A
99/06	2.36	1.13	1.43	0.48	0.61
99/07	2.86	1.60	1.53	0.57	0.54
99/08	2.90	3.15	2.74	1.08	0.94
99/09	2.20	2.04	1.99	0.93	0.91
99/10	2.36	1.99	1.77	0.84	0.75
99/11	2.00	2.13	1.45	1.07	0.73
99/12	1.53	1.46	1.08	0.96	0.71
00/01	1.86	2.02	1.39	1.09	0.75
00/02	2.12	2.36	1.49	1.12	0.70
00/03	4.10	2.39	1.71	0.58	0.42
00/04	2.73	1.74	2.09	0.64	0.77
00/05	3.80	2.07	2.83	0.55	0.75
00/06	4.94	2.78	2.95	0.56	0.60
平均	2.75	2.07	1.88	0.75	0.68

月份	A(蒸發皿)	H(熱收支)	C(Penman)	H/A	C/A
09/02/99	2.50	3.28	3.08	1.31	1.23
09/04/99	1.30	1.95	1.99	1.50	1.53
09/05/99	2.60	3.39	3.03	1.30	1.16
09/06/99	2.40	2.53	2.31	1.05	0.96
09/07/99	2.00	2.11	2.06	1.06	1.03
09/08/99	1.20	2.31	1.57	1.93	1.31
09/09/99	1.00	1.43	1.48	1.43	1.48
09/10/99	2.50	3.03	2.68	1.21	1.07
09/11/99	3.20	4.24	3.41	1.33	1.07
09/12/99	2.20	2.23	2.11	1.01	0.96
09/13/99	1.90	0.96	1.00	0.51	0.52
09/16/99	1.60	1.38	1.35	0.86	0.84
09/17/99	1.40	1.51	1.79	1.08	1.28
09/19/99	2.60	2.24	2.54	0.86	0.98
09/20/99	1.40	0.63	0.66	0.45	0.47
09/22/99	1.00	1.49	0.75	0.49	0.75
09/23/99	2.40	1.39	1.66	0.58	0.69
09/24/99	2.90	2.56	2.64	0.88	0.91
09/25/99	1.50	0.93	0.96	0.62	0.64
09/27/99	3.00	1.34	1.60	0.45	0.53
09/28/99	3.80	2.84	2.84	0.75	0.75
09/29/99	3.00	2.27	2.38	0.76	0.79
09/30/99	3.10	1.96	1.99	0.63	0.64
平均	2.20	2.04	1.99	0.93	0.91

肆、參考文獻

日本農業氣象學會。1998。農業氣象之測器與測定法，農業技術協會出版。332pp.。

吳輝龍。1998。山坡地種植檳榔對水土保持之影響。國立中興大學水土保持博士論文。172pp.。

徐森雄。1986。從熱收支推測嘉南地區之蒸發散。中華水土保持學報 17(12)：54~60。

徐森雄。1987。從氣象資料推估蒸發量。中華水土保持學報 18(2)：83~89。

徐森雄。1991。從微氣象資料推估盤固草之蒸發散量。中華農會學報，新 154 期：82~93。

徐森雄。1994。農業氣象實驗方法。中華農業氣象學會出版。102pp。

徐森雄、陳蕙蕙、沈立文、陳六合。1999。從氣象資料推估奧古斯丁草地之蒸發散量。中華農業氣象 6(2)：105~112。

陳信雄。1983。森林水文學。國立編譯館出版。523pp.。

Chapter 8　Hydrological and Microclimatical Characteristics of Betel-nut Orchard on Slopeland

Sen-Hsiung Hsu and Chi Tong

Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung , Taiwan 912 , R.O.C.

ABSTRACT

The fieldwork for this study was conducted in the experimental watershed of betel-nut orchard of Shan-Ann village located in the Shuli, Nan-Tao Hsien. In addition to the measurements of rainfall and surface runoff, one set of 6m tall observation pole was installed for this study. The global solar radiation, net radiation, vertical profiles of wind speed, air temperature, ground temperature and humidity, and soil heat flux were used to determine the microclimatic characteristics and surface runoff of betel-nut orchard. The collected meteorological data were used to predict the evopotranspiration of betel-nut orchard. These information offer a better understanding of the hydrologic characteristics of this area.

Key words: Betel-nut orchard, Hydrology, Microclimate, Evapotranspiration.